УДК 621.314.5

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ В ЭКСТРЕННОЙ МЕДИЦИНЕ

А.Г. Гарганеев

Томский политехнический университет
E-mail: garganeev@rambler.ru

Рассмотрены особенности построения систем бесперебойного электропитания экстренных медицинских отделений на базе преобразователей напряжения. Представлены функциональные схемы систем бесперебойного электропитания, а также осциллограммы переходных процессов выходного напряжения при работе системы на комплекс параллельно соединенных разнородных нагрузок.

Вопросы повышения качества электроснабжения хирургических и реанимационных отделений медучреждений актуальны в силу их высокой насыщенности современной медицинской аппаратурой и требования надежного функционирования. Исчезновение электропитания может привести к срыву работы медицинской аппаратуры, задействованной при проведении операций и реанимационных мероприятий, и нежелательным последствиям для пациентов.

Среди статических систем выделяется особый класс – системы бесперебойного электропитания (СБЭП) переменного тока с блоком аккумуляторных батарей (АБ), обеспечивающие бесперебойное электропитание задействованных потребителей.

СБЭП должна отвечать следующим основным требованиям:

1. Обладать автономностью, обеспечивая необходимое время работы в условиях отсутствия напряжения в промышленных сетях.
2. Учитывать «технологические» особенности работы экстренных медицинских отделений.
3. Соответствовать техническим характеристикам применяемой медицинской аппаратуры.
4. Не обременять медперсонал обслуживанием, отвечая основному принципу автоматических систем – «установил – включил – забыл».
5. Обладать экологической чистотой и приемлемыми массогабаритными показателями для удобства размещения вблизи потребителя.

Для выполнения этих требований важен учет аспектов: энергетического, технического качества выходных параметров, надежностного, стоимостного, экологического, эргономического. Из данных аспектов начальным в проектировании является, безусловно, энергетический.

Энергетический аспект проектирования СБЭП медицинского назначения должен исходить из тезиса: каждый вид хирургической операции или реанимационного мероприятия имеет свою энергетическую «стоимость» (табл. 1). Расчет энергий, необходимых для проведения различных реанимационных мероприятий и хирургических операций, показывает, что СБЭП переменного тока приемлемых массогабаритных показателей при использовании никель-кадмиевых либо свинцовых АБ может обеспечивать электроэнергией стандартную операционную в течение от нескольких часов до суток. Это подтверждает и многолетняя практика применения СБЭП в медучреждениях сибирского региона [1]. При этом энергетический расчет операций и реанимационных мероприятий исходит из особенностей их проведения: учитываются возможные режимы работы и сочетания медицинской аппаратуры, которую можно классифицировать следующим образом:

- осветительная (бестеневые лампы, переносные и головные светильники);
- регистрирующая (мониторы пульса, давления, температуры и т.д.);
- «технологическая» (электронож, электроотсос, наркозный аппарат, электропила, электросверло, хирургическая эндоскопическая аппаратура);
- «жизнеподдерживающая» (аппарат искусственной вентиляции легких (ИВЛ), насосы, дефибриллятор, «искусственная почка», кардиостимулятор, барокамера);
- информационно-диагностическая (приборы экстренной диагностики в клинических лабораториях. Сюда же можно отнести центрифуги, рентгеновские аппараты, компьютеры, интеллектуальные аппараты ИВЛ с микропроцессорным управлением).

Аспект обеспечения качества выходных параметров СБЭП исходит из того, что ее нагрузкой являются разнородные параллельно подключаемые потребители, выполняющие различные задачи единого технологического процесса (табл. 2). При этом их работа в аварийном режиме происходит в условиях первичного источника электропитания ограниченной мощности (АБ), параметры которого изменяются во времени. Электрическая разнородность параллельно подключенных потребителей, их различные режимы работы (рис. 1), а также переменные во времени параметры первичного источника характеризуют функционирование медицинских СБЭП как работу в условиях неопределенности.

Для реализации СБЭП медицинского назначения из известных структур представляется целесообразным применение типов «у линии» – (*off line*) и «линейно-интерактивный» – (*line interactive*) (рис. 2) [2] с применением в качестве первичных источников энергии аккумуляторных батарей [3].

Таблица 1. *Средняя продолжительность и энергоемкость некоторых хирургических операций и реанимационных мероприятий*

Профиль хирургических операций и реанимационных мероприятий	Применяемая медицинская аппаратура	Средняя продолж., ч	Средняя энергоемк., кВт·ч
Костные операции в травматологии	Аппарат ИВЛ; электронож-коагулятор; операц. лампа; электросверло; электропила; отсос; монитор.	1,5...2	1,2...1,8
Операции на груд. клетке:			
– легкие	Аппарат ИВЛ; электронож-коагулятор; операц. лампа; электропила; отсос; монитор.	2...2,5	1,8...2,2
– сердце	Аппарат ИВЛ; электронож-коагулятор; операц. лампа; электропила; отсос; монитор; аппарат искусственного кровообращения.	6	3...4
– позвоночник	Аппарат ИВЛ; электронож-коагулятор; операц. лампа; электропила; отсос; монитор.	2...3	2...3
Операции на брюшной полости (без применения эндоскопич. аппаратуры)	Аппарат ИВЛ; операц. лампа; отсос; монитор.	2 (опухоли до 5 ч)	2...3
Нейрохирургические операции	Аппарат ИВЛ; электронож-коагулятор; операц. лампа; головные светильники; монитор.	До 6...8	3...4
Урологические операции	Аппарат ИВЛ; коагулятор; операц. лампа; отсос; монитор.	2...2,5	1,8...2,5
Глазные операции	Операц. лампа; головные светильники; микроскоп; лазер.	2	0,8...1,2
Операции с применением эндоскопической аппаратуры	Аппарат ИВЛ; электронож-коагулятор; операц. лампа; монитор; отсос; инсуфлятор; морцеллятор; осветитель; видеокамера.	1...2	2,0...2,5
Реанимационные мероприятия			
– общие	Аппарат ИВЛ; отсос; мониторы; центрифуга; газоанализатор; насос.	24...72	4...12
– новорожденных	Аппарат ИВЛ; мониторы; кювез-инкубатор.	24...72	4...50

Схема «у линии» предусматривает переключение потребителя П на автономный инвертор АИ только в случае пропадания напряжения в сети. В нормальном режиме П питается от сети через ключи К1 и К3. Ключи К2, К4 при этом разомкнуты, а ЗУ обеспечивает заряд АБ. При пропадании сетевого напряжения включается ключ К4 и отключается ключ К3. Такие СБЭП отличаются дешевизной. Преимущества схемы «*off line*» заключаются в ее простоте и экономичности, а недостатки – в отсутствии стабилизации входного напряжения при работе в «нормальном» режиме.

Логическим развитием схемы «у линии» является объединение функций СБЭП и стабилизатора напряжения. Часто длительное повышение или понижение напряжения, являющееся результатом подключения или отключения на подстанции большого числа потребителей может длиться часами. Однако переход на АБ в этом случае может быть не оправдан, хотя выход напряжения за допустимые пределы способен привести как с сбоям работы потребителя, так и к его выходу из строя. В этом случае целесообразно, не используя энергию АБ, корректировать напряжение с помощью стабилизатора С, функционально объединенного с преобразователем и ключами. Фактически же стабилизатор с ключами является трансформатором с управляемым коэффициентом трансформации. Переход на АБ происходит лишь в случае пропадания напряжения сети или при чрезмерном его понижении. Схема «*line interactive*» является удачным компромиссом между дорогостоящими системами «*on line*», с «дельта-преобразованием» и относительно простыми «*off line*».

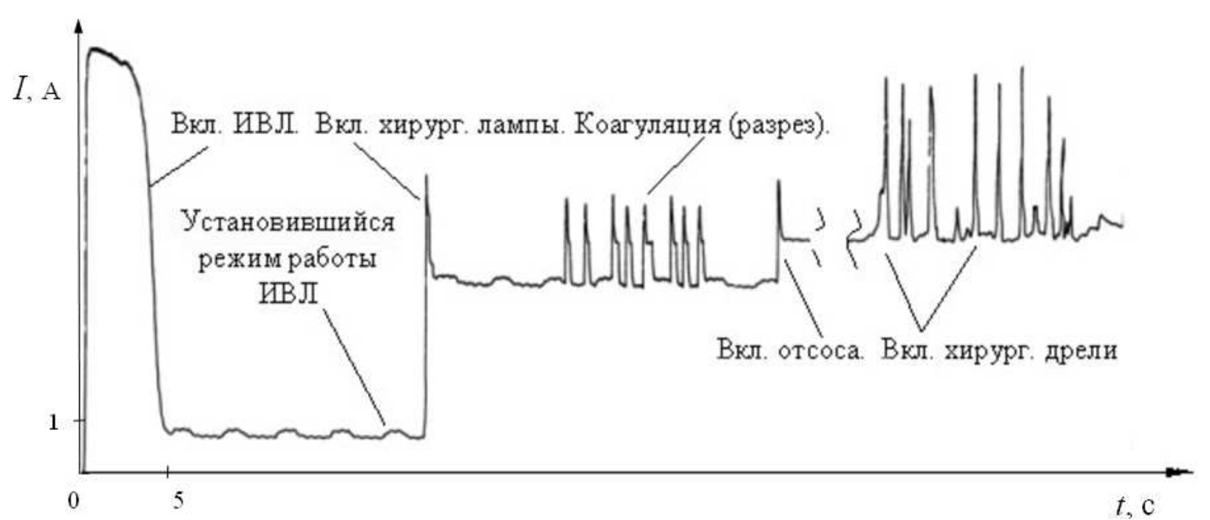


Рис. 1. *Диаграмма токопотребления хирургической операционной при проведении эндопротезирования тазобедренного сустава*

Таблица 2. *Характеристика основных типов медицинских приборов с точки зрения электрической нагрузки*

№	Тип нагрузки	Принципиальная схема	Назначение	Вид переходного процесса тока при включении в сеть	Кратность пуск. тока
1	Двигательная с однофазным асинхронным двигателем		Аппараты ИВЛ; гемофильтрации электроотсос, вентиляторы		До 6
2	Двигательная с однофазным коллекторным двигателем		Электросверло; электропила		До 5
3	Двигательная с трехфазным асинхронным двигателем		Компрессор водоподготовки аппарата "искусствен. почка"		До 7
4	Выпрямительная с емкостным фильтром и вторичным источником питания (ВИП)	ВИП	Мониторы; компьютеры; эндоскопич. аппаратура и др.		До 10
5	Трансформаторновыпрямительная с емкостным фильтром и активной нагрузкой		Коагуляторы; мониторы; неонатальный стол и др.		До 10
6	Трансформаторная с активной нагрузкой		Операционные лампы; микроскоп и др.		До 6

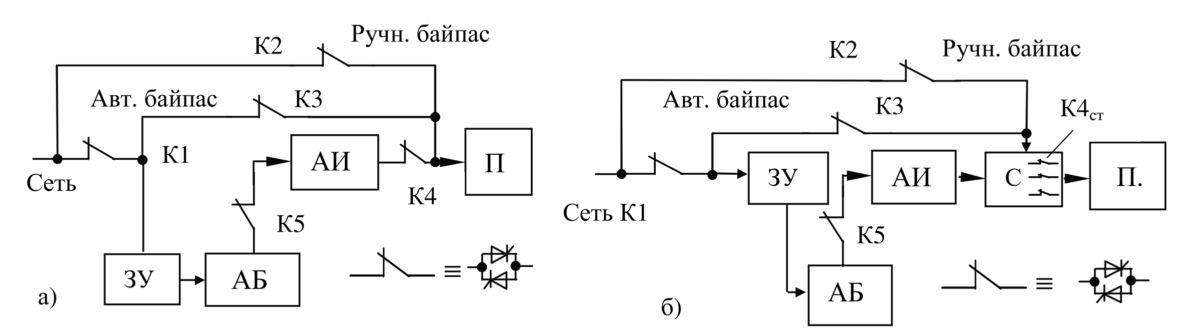


Рис. 2. Функциональные схемы построения СБЭП медицинского назначения: а) «у линии»; б) «линейно-интерактивная»

Отмеченная выше «непредсказуемость», электрическая разнородность и нелинейность нагрузки определяет особенности построения системы автоматического регулирования выходного напряжения СБЭП как с целью сохранения его синусоидальной формы, так и для обеспечения устойчивости и робастности системы. При использовании автономных инверторов с широтно-импульсной модуляцией появляется возможность строить системы с обратной связью по мгновенному значению выходного напряжения. В этом случае инвертор, работающий в режиме широтно-импульсной модуляции с несущей частотой в несколько кГц, можно рассматривать как безынерционный исполнительный элемент, формирующий с выходным фильтром напряжение промышленной частоты, а система становится инвариантной к нагрузке. На рис. 3 представлены осциллограммы напряжения на нагрузке и в цепи обратной связи (ОС). На рис. 4 для примера приведена функциональная схема СБЭП, реализующая эти алгоритмы.

Технические характеристики СБЭП ПОС-10000 АЛТЗ.211.211 (ГНУ НИИ АЭМ)

1. Входное напряжение и частота пром. сети .... 187...242 В, 50 Гц
2. Выходное напряжение, В .... 220±5 %, 50 Гц±1 %
3. Коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения, %, ... не более 5
4. Максимальная длительная выходная мощность, кВт, ... не более 10
5. Тип применяемых АБ .... A500 Dryfit 12RG55, 12RG85 Sonnenschein
6. Время непрерывной работы системы до полного разряда АБ при выходной мощности:
   – 10 кВт, ... для 12RG55 ~35 мин, для 12RG85 ~50 мин
   – 2 кВт, ... для 12RG55 ~170 мин, для 12RG85 ~250 мин
7. Номинальное напряжение набора АБ .... 180 В
8. Время полного автоматического заряда АБ от сети 220 В, 50 Гц .... ~24 ч (80 % – ~6 ч)
9. Время переключения потребителя с промышленной сети на систему, включая время обнаружения исчезновения сетевого напряжения с, ... не более 0,004
10. Время переключения потребителя с системы на сеть, с, ... 0
11. Вес преобразователя, кг 150
12. Вес аккумуляторного блока, кг
   – с АБ 12RG55 365
   – с АБ 12RG85 490
13. Габаритные размеры преобразователя (то же для аккумуляторного блока): высота×ширина×длина, мм .... 1500×600×420

Опыт применения СБЭП в экстренной медицине показывает их полезность и высокую эффективность при «нештатных» ситуациях внезапного исчезновения электроэнергии. Следует отметить, что при разработке и эксплуатации систем подобного класса необходим учет не рассмотренных в данной статье вопросов, касающихся взаимодействия СБЭП с дизель-генераторной станцией, электромагнитной совместимости и надежности.

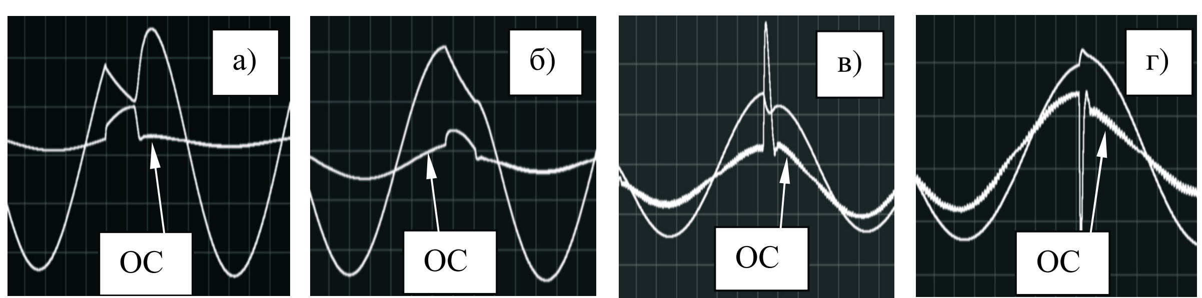


Рис. 3. Выходное напряжение и сигнал обратной связи в СБЭП при: а), б) переходе нагрузки с сети на инвертор в различные моменты времени; в), г) сбросе и набросе нагрузки в диапазоне «холостой ход – номинальный режим»

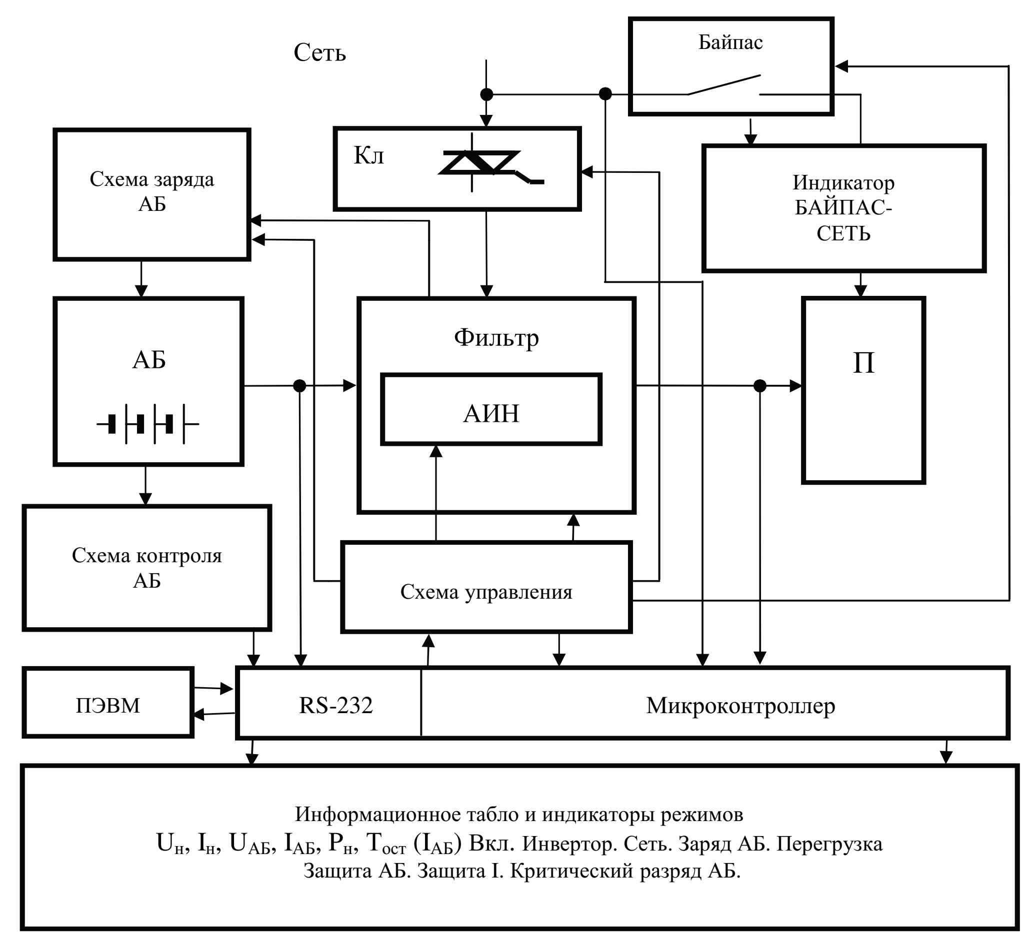


Рис. 4. *Функциональная схема СБЭП (на примере ПОС-10000 АЛТЗ.211.211 ГНУ НИИ АЭМ)*



Рис. 5. *Пример размещения СБЭП в хирургической операционной*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров А.Г., Гарганеев А.Г., Полонский В.В., Целебровский И.В., Шурыгин Ю.А. Опыт применения систем аварийного электроснабжения при проведении хирургических операций и реанимационных мероприятий в лечебных учреждениях г. Томска и Томской области // Вестник «Здравоохранение Сибири». – 1999. – № 4. – С. 77–78.
2. Азаров А.Г., Гарганеев А.Г., Житков О.М. Интерактивные системы бесперебойного электропитания // Наука производству. – 1999. – № 7(20). – С. 40–41.
3. Азаров А.Г., Гарганеев А.Г., Полонский В.В. Аккумуляторные батареи в системах бесперебойного электропитания // Аппаратно-программные средства автоматизации технологических процессов: Сб. трудов НИИ АЭМ, посвящ. 30-летию института / Под ред. Ю.А. Шурыгина. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. – С. 197–207.

УДК 621.313.048